

Tecnología al servicio del medio ambiente

Francisco Sacristán Romero*

Artículo recibido: 22-08-2005 y aprobado: 26-04-2006

Applied technology to the environmental science

■ **Resumen:** La teledetección ofrece grandes posibilidades para la realización de progresos en el conocimiento de la naturaleza, aunque todavía no se ha logrado todo lo que de ella se esperaba debido a que se piensan realizar perfeccionamientos en la resolución espacial, espectral y temporal de los datos.

Además, es necesario un mayor rigor científico en la interpretación de los resultados obtenidos, tratando de no extraer conclusiones definitivas de los estudios medioambientales realizados mediante técnicas de teledetección.

Los modelos que se elaboran para interpretar los datos de teledetección deberán tener como objetivo eliminar los efectos ocasionados por la variabilidad en las condiciones de captación, la distorsión provocada por la atmósfera y la influencia de parámetros tales como la posición del Sol, pendiente, exposición y altitud.

Palabras clave: Teledetección, tecnología, medio ambiente, satélites de comunicación.

■ **Abstract:** The teledetection offers great possibilities for the accomplishment of progresses in nature knowledge acquisition. Although not everything expected from it has been achieved, we are supposed to make improvements in the levels of spacial, spectral and temporary resolution of data.

In addition, it is necessary to apply a greater scientific rigor to the results analysis, avoiding generalizations and final conclusions from the environmental studies carried out by using teledetection techniques.

Key Words: Teledetection, technology, ecology, communications satellites.

* Departamento de Historia de la Comunicación Social, Facultad de Ciencias de la Información, Universidad Complutense de Madrid, España fransacris@ozu.es

1. Introducción

La preocupación de los ciudadanos por la escasez creciente de los recursos naturales y energéticos, así como las degradaciones que ha realizado el ser humano en su medio ambiente con sus actuaciones, muchas veces irracionales y contra natura, han planteado en el mundo entero la imprescindible necesidad de un mejor conocimiento de su hábitat natural dentro del cual se desenvuelve.

La adecuada planificación de las actividades humanas que las circunstancias actuales exigen han de descansar en la realización de un inventario más completo y actualizado de las riquezas naturales nacionales e internacionales, ya sean agrícolas, forestales, hidrológicas, mineras, etc. De igual forma, la vigilancia sobre el medio ambiente debe ser mayor, y esta actitud producirá una reducción en los impactos sufridos por el medio hasta la fecha.

Los datos procedentes del servicio conocido como teledetección son una gran fuente de información, y desempeñan un importante papel en la consecución de los dos objetivos anteriormente apuntados.

Centrándonos más específicamente en el caso español, una de las acciones más importantes debe enfocarse a la *calidad de las aguas* y la *detección de incendios*, dos problemas de todos.

El agua es una de las grandes riquezas de la Península Ibérica, indispensable para la vida y la ontogenia del ser humano. Si su calidad se deteriora, todos sufrimos las consecuencias: hombres, animales y plantas.

Preservar y mejorar la calidad del agua de nuestros ríos es cuidar el medio ambiente para todos y para todo.

Los ríos españoles tienen una longitud total de 172.000 kilómetros, más de cuatro veces la vuelta al mundo. Vigilar su situación, impedir cualquier vertido contaminante, requiere un sistema moderno de análisis, que utilice las tecnologías de comunicación más avanzadas. Es preocupante que hoy un tercio de la longitud de nuestros ríos necesite una atención y saneamiento inmediatos, según la información suministrada por el Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente.

Para que todos dispongamos de agua en la cantidad precisa, en el momento y lugar en que sea necesaria, hace falta una actuación planificada, global, de regulación de recursos. Pero junto a ella es indispensable también conservar la calidad del agua, depurando el agua utilizada, y a la vez vigilando su calidad, para impedir su deterioro. Es una tarea que hay que realizar de forma continua las 24 horas de cada día.

Otro asunto en el que existe una especial preocupación es el de los *vertidos urbanos*. En poco más de diez años, las grandes ciudades españolas, en su inmensa mayoría, han abordado este problema de forma conjunta con el de la depuración de las aguas residuales. Hacia mediados de los años ochenta, el 60% de nuestra población estaba ya conectada a sistemas de depuración. La Directiva Europea 91/271/CEE planteaba importantes retos: antes del año 2000 debían depurar sus aguas todas las poblaciones con más de 10.000 habitantes. Antes del año 2005, debían hacerlo las poblaciones con más de 2.000 habitantes.

Las empresas públicas y privadas españolas no podrán competir ni en

Europa ni en el mercado interior si no asumen los costes de depuración. Por todo ello, el Plan de Regularización de Autorizaciones de Vertidos y Gestión del Canon, previsto en el Plan Hidrológico Nacional, necesita fundamentarse en sistemas altamente fiables de control y vigilancia.

El uso de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura provoca graves alteraciones en la calidad del agua. En consonancia con lo acordado en la Directiva Europea 91/676/CEE sobre la contaminación producida por los nitratos, el Ministerio de Medio Ambiente y el de Agricultura están desarrollando en nuestro país la normativa necesaria.

Gracias a los trabajos realizados a través del sistema Saica (Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas), que se hace posible vía Hispasat desde 1994, la "reutilización" de las aguas residuales se ha convertido en una actuación básica en la calidad de las aguas. Existen ya importantes programas pilotos en las Islas Canarias y en Madrid. Esta nueva aplicación de las aguas permite liberar recursos cada vez mayores para abastecimientos y otros usos, asegurando las necesidades en agricultura, en el riego de parques y jardines, y en la recarga de acuíferos.

La estrecha relación que la Universidad Complutense de Madrid tiene con la sociedad Hispasat S.A. ha permitido que dispongamos de una información muy detallada de lo que constituye el núcleo central de este trabajo sobre medio ambiente: Saica.

Adelantamos aquí algunos de los objetivos más importantes de este programa nacional:

1. Detectar y controlar la contaminación de los ríos y acuíferos, con carácter preventivo.
2. Cumplir y hacer cumplir las directivas de la Unión Europea sobre la calidad de las aguas.
3. Control exhaustivo de los niveles de calidad por tramos de río en función de los requisitos establecidos para cada uso (abastecimiento, regadío, vida piscícola, etc.) y llegar a los objetivos finales de calidad de los planes hidrológicos de cuenca.
4. Protección de vertidos indeseados las 24 horas del día respecto a determinados empleos específicos, sobre todo los abastecimientos a núcleos de población.
5. Aplicación de forma eficiente de la normativa española, en particular de la Ley de Aguas, sancionando de forma ágil a los responsables -empresariales y particulares- de vertidos contaminantes para la salud.
6. Nuevas tecnologías y procedimientos modernos de gestión, que permitan, con poco personal de vigilancia, realizar una amplia cobertura de control de nuestra red hidrográfica de forma continua.

El Saica constituye, dentro de su género, uno de los sistemas más avanzados y pioneros de Europa, en concepción y tecnología. Es a la vez un sistema extremadamente económico, que permite la cobertura de todas nuestras cuencas hidrográficas con un presupuesto de 10.000 millones de pesetas, para el que cuenta con apoyo de fondos de la Unión Europea. Ha recibido el plácet de la Comisión Europea.

Este programa es un sistema de ámbito nacional, que recibe y procesa durante las 24 horas del día la información procedente de las redes integrales de control de calidad de las cuencas hidrográficas. Permite el control continuo y sistemático de la cantidad y calidad de las aguas de los ríos, según el uso a que estén destinados: abastecimiento, regadío, baños, etc.

El sistema Saica hace posible tener una información real e inmediata de lo que sucede en nuestros ríos y acuíferos. Por ello se pueden desgranar, entre otras, las siguientes funciones:

- 1ª Alerta automática de protección, principalmente para abastecimientos.
- 2ª Diagnósticos continuos de calidad por tramos de río, según los usos de cada segmento de terreno.
- 3ª Datos estadísticos, informes temáticos, realizando el seguimiento de los diferentes tipos y niveles de contaminación.
- 4ª Estrategias de control, vigilancia y sanción de vertidos contaminantes.
- 5ª Simplificación de procedimientos, informatización, mayor agilidad en las autorizaciones de vertido y expedientes sancionadores.
- 6ª Informes a la Unión Europea para el cumplimiento de las diferentes Directivas sobre la calidad de las aguas.

A modo de apunte general en esta introducción, que posteriormente desarrollaremos con más amplitud y detalle, queremos precisar que en cada cuenca hidrográfica, el Saica cuenta con una red de información de calidad de las aguas. En total, el sistema se compone de:

- 1.000 estaciones de muestreo periódico (EMP).

- 200 estaciones de muestreo ocasional (EMO).
- 115 Estaciones automáticas de alerta (EAA).
- Nueve centros periféricos de proceso (CPP), uno en cada cuenca hidrográfica.
- Una unidad central en el Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- El enlace entre todo el sistema se realiza usando el sistema Hispasat.

Las “estaciones automáticas de alerta” realizan mediciones en forma continua de los diferentes parámetros elegidos sobre la calidad de las aguas, y alertan cuando detectan que determinados parámetros de calidad superan los valores exigidos por la normativa vigente.

Disparada una alarma, el sistema pone en marcha automáticamente mecanismos de interrupción de tomas de suministro de agua a poblaciones, a la vez que lleva a cabo los análisis que permiten identificar el vertido causante de la alarma y su posible origen, facilitando así las medidas sancionadoras.

Las estaciones de control, instaladas en los puntos más conflictivos de los ríos, transmiten a los centros de proceso de cada cuenca y a la unidad central del Ministerio de Medio Ambiente la información sobre la calidad de las aguas a través del satélite español Hispasat, mediante el sistema VSAT. En los centros de control se investigan las causas, se analizan las posibles consecuencias de cada contaminación y se advierte a la inspección. Entran así en funcionamiento los mecanismos de policía de agua previstos en nuestras leyes.

En estos momentos, el funcionamiento normal del sistema Saica pasa por ser la mejor opción para mantener

y mejorar la calidad de las aguas de nuestros ríos y acuíferos. Este sistema tiene en cuenta las responsabilidades en materia de saneamiento y depuración de las administraciones locales y autonómicas. Hace posible la coordinación con la administración central del Estado, que es la que corresponde el control, vigilancia y conservación del dominio público hidráulico, garantizando así la calidad de las aguas continentales.

Este sistema contribuye de forma considerable a la realización del Plan Hidrológico Nacional, convirtiendo a España en uno de los países europeos con más y mejores recursos hidrológicos, a pesar de los pasados años de sequía pertinaz. En suma, una buena herencia para las próximas generaciones si saben aprovecharlo con racionalidad y coherencia.

Aparte del sistema Saica, ampliaremos información con apartados sobre el avance más reciente de la “teledetección”, una tecnología abanderada en el estudio de los impactos medioambientales. Nos centraremos en algunos de los antecedentes, características de los datos estadísticos de teledetección, satélites de recursos naturales anteriores a Hispasat, para luego exponer con más profundidad nuestra explicación sobre el Saica.

2. La función de la teledetección en el estudio del medio ambiente

La teledetección de recursos naturales se basa en un sistema de adquisición de datos a distancia sobre la biosfera, que apoyado en las propiedades de la radiación electromagnética y en su interacción con los materiales de la superficie terrestre.

Todos los elementos de la Naturaleza tienen una respuesta espectral propia

que se denomina “signatura espectral”. La teledetección estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Su objetivo esencial se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y en los fenómenos que en ella se operan a través de su signatura espectral.

La información se recoge desde plataformas de observación que pueden ser aéreas o espaciales, pues los datos adquiridos a partir de sistemas situados en la Tierra constituyen un estadio preparatorio de la teledetección propiamente dicha y se consideran como campañas de verdad terreno.

Las plataformas de observación portan los captadores, es decir, aquellos instrumentos que son susceptibles de recibir y medir la intensidad de la radiación que procede del suelo en una cierta gama de longitudes de onda, y transformarla en una señal que permita localizar, registrar y digitalizar la información en forma de fotografías o imágenes numéricas grabadas en cinta magnética compatibles con un ordenador (CCT).

Los captadores pueden ser cámaras fotográficas, radiómetros de barrido multiespectral (MSS), radares y láseres. Estos aparatos generan imágenes analizando la radiación emitida o reflejada por las formas y objetos de la superficie terrestre en las longitudes de onda en las cuales son sensibles (ultravioleta, visible, infrarrojo próximo, infrarrojo técnico, hiperfrecuencias) con el fin de reconocer la variada gama de formas y objetos.

2.1 Satélites de recursos naturales Landsat

Con objeto de hacer un breve recorrido histórico sobre los satélites con servicios destinados al cuidado del medio ambiente, empezamos este apartado por el sistema que se encuentra como uno de los pioneros: el Landsat, primer satélite de recursos naturales lanzado por la NASA en julio del ya lejano 1972. Con posterioridad a este lanzamiento, fueron puestos en órbita los satélites Landsat 2 y Landsat 3 en enero de 1975 y marzo de 1978, respectivamente, con la finalidad de asegurar la recolección de datos para estudios ulteriores. Los satélites Landsat están situados en una órbita casi polar y sincrónica con el Sol, a 920 kilómetros de altura sobre la superficie terrestre.

Tardan en efectuar una órbita completa 103 minutos, barren la superficie terrestre cada 18 días y obtienen información simultánea de zonas de la Tierra de 185 x 185 km (aproximadamente 34.000 km).

Los satélites Landsat están provistos de sensores remotos de varios tipos. El primero es el RBV (Return Beam Vidicon), que consiste esencialmente en un sistema de cámaras de televisión. El segundo sensor es un equipo de barrido multiespectral o MSS (Multiespectral Scanner), que registra la energía reflejada por la superficie terrestre en las regiones verde, roja e infrarroja del espectro electromagnético. La unidad elemental de información tiene una resolución espacial de 79 metros.

Las señales analógicas registradas por los sensores se convierten a un formato digital y se transmiten a la Tierra. Los datos del Landsat se comercializan,

bien en forma de productos fotográficos, bien en forma de imágenes digitales grabadas en cintas magnéticas compatibles con ordenador.

2.2 Características de los datos de teledetección

El conjunto de los datos adquiridos mediante procedimientos de teledetección de aviones o naves espaciales comprenden siempre tres tipos de información (Goillot, 1976):

- 1^a Una información espacial que representa la organización en el espacio físico de los elementos que constituyen la imagen.
- 2^a Una información espectral que caracteriza y puede conducir al conocimiento de la naturaleza de la superficie terrestre.
- 3^a Una información temporal que permite la detección de los cambios operados en la superficie de la Tierra con el transcurso del tiempo.

Además, los sensores remotos, especialmente los radiómetros de barrido multiespectral de la serie de satélites Landsat, realizan una percepción muy particular del medio ambiente y del paisaje, que se caracteriza por la existencia de una homogeneización de la imagen que es función del nivel de resolución de los sensores o captores.

La información elemental o píxel (contracción de *picture element*) tenía, a principios de la década de los ochenta, en el satélite Landsat, unas dimensiones sobre el terreno de 56 m x 79 m. Estas unidades informativas se disponen en la superficie terrestre a modo de malla geométrica con una cierta inclinación respecto a meridianos y paralelos, pareciéndose en cierto modo a la malla

UTM o Lambert. La malla del Landsat no tiene relación alguna con los límites geográficos de los objetos situados en la superficie terrestre.

En estas condiciones, lo más normal es que un pixel tenga una naturaleza heterogénea, pudiendo englobar en el caso de una zona urbana una manzana de casas, un jardín y una autopista.

Las diferencias locales se diluyen en la respuesta promedio, y este efecto crea una ilusión sobre la existencia de zonas de transición y zonas de contacto gradual entre distintas unidades de paisaje. Este efecto no se manifiesta cuando existe un contraste brusco entre dos usos del suelo contiguos, por ejemplo, un movimiento de tierras reciente dentro de un bosque cerrado. La existencia de un contraste brusco puede permitir observar en una imagen objetos cuyas dimensiones sean inferiores a las de un pixel.

En definitiva, los datos adquiridos a través de teledetección se caracterizan por las siguientes propiedades (Tricart, 1979):

1ª Posibilidad de obtener información sobre aspectos del medio natural que escapan totalmente a nuestros sentidos (ondas de radar, infrarrojo de Landsat, etc.). La experiencia “natural” del hombre es, por tanto, nula en estos dominios espectrales, y por esta razón se realizan “visualizaciones” que tienen una función y utilidad análogas a las fotografías aéreas y que se denominan imágenes para evitar la confusión.

2ª Estas informaciones que son registradas por los sensores y que miden la cantidad de energía reflejada o emitida por los objetos naturales que componen el paisaje son de tipo numérico y se pres-

tan al tratamiento matemático. Por otro lado, su extremada abundancia obliga al empleo de grandes ordenadores y métodos de tratamiento de datos muy sofisticados y potentes.

3ª Los datos extraídos de los servicios de teledetección nos revelan ciertos aspectos de los ecosistemas difíciles de estudiar, prácticamente desconocidos, contribuyendo de una forma eficaz al conocimiento de los mismos y de su funcionamiento (detección de enfermedades en las plantas, efectos del estrés debido a la falta de agua, transpiración, régimen térmico, etc.).

4ª Por último, la teledetección permite seguir la evolución de las grandes extensiones forestales que persisten en la superficie del globo, tener una visión de conjunto sobre los efectos producidos por las grandes catástrofes (por ejemplo, las sequías aterradoras de las regiones saharianas de África) y reconocer ciertos fenómenos de polución a gran escala en el mar.

2.3 Resolución espacial de los satélites de protección medioambiental

En la década de los setenta, la mayoría de las imágenes de satélites empleados en el estudio de los fenómenos terrestres pertenecía a la serie Landsat.

Muchos científicos han realizado aplicaciones empleando dichas imágenes, sobre todo en Estados Unidos, pero también muchos otros se dieron un compás de espera debido a la baja resolución espacial de dichas imágenes con respecto a la fotografía aérea convencional. La mayoría de los satélites de recursos naturales que se han diseñado y construido para ser lanzados al espacio en la década de los

ochenta, han proporcionado imágenes con mejoras sustanciales en la resolución espacial con respecto a los satélites pioneros.

La necesidad de disponer de imágenes con mejor definición espacial quedó parcialmente satisfecha con el lanzamiento en 1982 del Landsat D y por el satélite SPOT (Sistema Probatorio de Observación de la Tierra) que fue puesto en órbita en 1984. Además, el lanzador Columbia dispuso cámaras métricas con resoluciones inferiores a los 10 metros.

Estos avances en la tecnología de los sensores remotos permitieron predecir a Allan (1977) que hacia mediados de los años ochenta la mapificación de las grandes áreas a partir de las imágenes satelitales estaría muy extendida.

En un principio, las imágenes se construían por medio del movimiento de un espejo situado transversalmente a la órbita del satélite. La imagen final estaba constituida por una matriz de elementos de imágenes o píxeles. Este método se empleó en el sistema MSS de los satélites Landsat 1, 2 y 3, y en el mapeado temático del Landsat D.

En los radiómetros de barrido *-pushbroom radiometers-* no es necesario el espejo oscilante antes mencionado, pues un chip monolítico de silicón posee cientos o miles de detectores en línea con amplificadores y circuitos electrónicos multiplexados (Thompson, 1979).

Estos detectores hacen un muestreo electrónicamente, de tal forma que un vector que contiene toda una línea de la imagen, se registra al mismo tiempo que el satélite avanza a lo largo de la órbita de un elemento de resolución.

Las carreteras y ríos de anchura inferior a 79 metros son frecuentemente detectables en las imágenes Landsat. La alineación de los objetos es también muy importante y la eficacia en la detección depende mucho de que el eje central del objeto se encuentre en la mitad de una línea de barrido o en la frontera entre dos líneas de barrido. En el segundo caso, la detección es más difícil.

Mientras hay objetos inferiores a 79 metros que se pueden detectar, muchos objetos de tamaño igual o mayor no son detectables. En las imágenes Landsat se ha mostrado que los objetos de bajo contraste sólo son detectables si tienen una longitud superior a 250 metros.

Una consecuencia obvia de todo esto es que la habilidad del sensor para detectar objetos depende del contraste con los alrededores y está en relación con la sensibilidad que posea el captor para detectar pequeñas diferencias. El tamaño mínimo de los objetos que son detectables en una imagen también está en función de las condiciones atmosféricas locales (González Alonso y Cuevas Gozalo, 1982).

Finalmente, para que la utilidad de los satélites sea mejor entendida y los futuros sistemas se diseñen de una manera más eficiente, Townshend (1981) indicaba que sería necesario investigar dos áreas principales:

1ª Elaboración de medidas de resolución que reflejen mejor la cantidad y calidad de la información que puede extraerse de los datos.

2ª Desarrollo de índices que midan las propiedades espaciales de los atributos (vegetación, geología, etc.) en el terreno.

3. Métodos de tratamiento para la extracción de información de los datos de teledetección

El lanzamiento del satélite Landsat 1 en 1972 comenzó una nueva era para los estudios de medio ambiente, al proporcionar datos de alta calidad que se pueden obtener a intervalos frecuentes sobre cualquier zona de la superficie terrestre.

Sin embargo, la capacidad de obtener información desde los satélites es mayor que la capacidad de la que hasta hace poco tiempo se tenía para analizar e interpretar los datos de una forma totalmente eficaz.

En los albores iniciales del programa Landsat, se estableció una especie de diálogo de sordos entre los promotores de la teledetección (que a menudo tenían una formación en ingeniería técnica o superior, en física o en informática) y los usuarios potenciales (geólogos, geógrafos, agrónomos, forestales, hidrólogos, etc.) debido a que los primeros interpretaban las imágenes de forma demasiado ingenua, según la opinión de los usuarios, que a su vez hacían gala de gran escepticismo, alimentado por una cierta inercia de cara a su necesario reciclaje.

De una forma progresiva estas barreras tienden a desaparecer y así, cada vez más, gentes de formación académica muy diferente tienden a las colaboraciones mutuas y al intercambio de informaciones.

Además, en teledetección existe muy a menudo una gran interacción entre las técnicas y las aplicaciones, debido a que estas últimas permiten frecuentemente replantearse los métodos empleados.

Las técnicas de tratamiento de datos en teledetección tienen como objetivo esencial ayudar al investigador en la interpretación de los datos procedentes de sensores remotos.

3.1 La interacción hombre-máquina

Desde hace más de una década, los esfuerzos realizados para extraer información a partir de sensores remotos multispectrales van dando resultados progresivamente.

Dichos esfuerzos se han centrado esencialmente en la aplicación de las técnicas de reconocimiento automático de patrones a las medidas de multiespectro que caracterizan a los elementos de resolución.

Generalmente, las escenas son clasificadas píxel a píxel basándose en los vectores de medidas espectrales que están asociados a los elementos que componen la imagen, empleando para este proceso ordenadores y programas desarrollados para el efecto.

Los sistemas completamente automáticos de tratamiento de imágenes digitales no han proporcionado resultados del todo satisfactorios en las aplicaciones relativas a la mapificación de usos del suelo.

La perfección del ojo humano es muy grande, el papel que ha de desarrollar el analista como fotointérprete es esencial tanto en la interpretación de las imágenes fotográficas como en el proceso automático de las imágenes digitales. Por ello, cada vez más, los sistemas de tratamiento se diseñan de tal forma que intervengan más activamente en el proceso especialistas de las ciencias medioambientales.

El papel del especialista consiste en incorporar al sistema su conocimiento del medio ambiente, particularmente las peculiaridades regionales de las imágenes en cuestión, localizando en el espacio los distintos tipos de cubierta u otros fenómenos que están acordes con las relaciones ecológicas o antropógenas que se manifiestan en las imágenes.

Los progresos que preferentemente se han llevado a cabo en la cuestión del tratamiento numérico, consisten en la puesta a punto de dispositivos de visualización que permiten un diálogo permanente del investigador con el ordenador, pudiendo escoger aquel los tratamientos numéricos adecuados y, una vez aplicados, controlar los resultados, apreciando la concordancia que existe entre dichos resultados y sus conocimientos (Tricart, 1979).

3.2 Clasificación automática de los datos de teledetección

La clasificación automática de los datos digitales de teledetección es una gran ayuda para el investigador en la interpretación de imágenes multiespectrales.

El objetivo de toda clasificación es el reconocimiento de clases o grupos cuyos miembros tengan ciertas características en común. El resultado ideal sería la obtención de clases mutuamente excluyentes y exhaustivas.

En teledetección, las clases obtenidas cuando se realiza una clasificación deben ser espectralmente diferentes unas de otras, y además deben contener un valor informativo de interés para la investigación de que se trate.

Tradicionalmente se han seguido dos enfoques en la realización de las

clasificaciones: uno de tipo supervisado y otro de tipo no supervisado.

El enfoque de tipo supervisado supone un entrenamiento de clasificador a través de un conocimiento *a priori* de la verdad terreno que se ha seleccionado como representativa de las clases informacionales que se quieran reconocer en la imagen.

El enfoque no supervisado no precisa el conocimiento previo de una verdad terreno, y tiene la pretensión de segmentar la imagen en una serie de clases por procedimientos exclusivamente numéricos, basándose sólo en la estructura que posean los datos espectrales.

En las clasificaciones supervisadas casi siempre se parte de la hipótesis de que la distribución de los datos espectrales es normal multivariante, lo que permite la utilización de procedimientos paramétricos, tales como los clasificadores bayesianos.

Ahora bien, suele ocurrir que los datos espectrales no se ajustan bien a la distribución multinormal, pudiendo ser arriesgado realizar la hipótesis anterior.

Maynard y Strahler (1981) propusieron el clasificador Logit, un clasificador no paramétrico. En una simulación realizada con ordenador generando datos no normales, el clasificador Logit fue significativamente superior al bayesiano, mejorando la exactitud en un 34%. Cuando se utilizó dicho procedimiento en una zona agrícola, y con datos Landsat reales, el incremento de precisión experimentado fue del 39%.

Los mayores problemas que subyacen a las clasificaciones de tipo supervisado son:

1º. Validez de las clases espectrales, construidas en la fase de entrenamiento de los clasificadores, para representar a las clases informacionales que se quieren reconocer.

2º. Elevado coste (desde el punto de vista del tiempo de cálculo) que puede suponer la realización de tales clasificadores. Una forma eficaz de reducir el coste de las clasificaciones consiste en el empleo de las tablas de clasificación. Estas tablas están basadas en la alta correlación que presentan las cuatro bandas del radiómetro del Landsat, lo que reduce el número de combinaciones espectrales distintas que se pueden presentar en la imagen. De esta forma, normalmente en una imagen Landsat sólo se presentan varios miles de combinaciones de los aproximadamente 16 millones de combinaciones espectrales posibles.

La fiabilidad de las clasificaciones realizadas mediante este procedimiento suele tener el mismo orden de magnitud que la obtenida mediante los métodos convencionales, pero el tiempo de cálculo es sensiblemente inferior.

Conclusiones

A través de esta revisión doctrinal se han intentado delinear algunos de los hitos más relevantes que los seres hu-

manos, en su intrínseca relación con la evolución de la tecnología satelital, han aplicado al cuidado y a la conservación de lo más preciado que tenemos en este planeta: el medio ambiente. Es por ello que en la mayor parte de los Estados de la Unión Europea y, por supuesto, en varios del continente americano, se han detectado tres grandes focos de aplicación de las técnicas y la metodología de la teledetección, nuestro objeto de estudio, a saber:

1ª. Calidad de las aguas.

2ª. Detección de incendios.

3ª. Control de los vertidos urbanos.

Dependiendo de los países, los gobiernos de turno aplican más recursos a uno u otro servicio, aunque en el caso concreto de las naciones que conforman la Unión Europea se intentan delimitar unas pautas de actuación comunes a través de los dos instrumentos jurídicos más importantes vigentes y directamente relacionados con el Derecho Comunitario secundario, como son los Reglamentos, de aplicación directa en los países miembros, y las Directivas, que necesitan una adaptación posterior a las legislaciones nacionales respectivas para su aplicación a los ciudadanos. ▲

Bibliografía

Allan, J. A. (1977). "Land use charges in land use in the Urla area of Aegean Turkey", En: Van Genderen y W. G. Collins, (eds.), *Monitoring Environmental Change by Remote Sensing*. Londres: Remote Sensing Society.

Dukert, J. M. (2002). "Environmental Challenges and Opportunities of the North American Electricity Market Symposium".

Goillot, C. H. (1976). Rapport de Synthèse, C. R. Table ronde C.N.R.S. "Ecosystems bocagers", Rennes.

- González Alonso, F. y Cuevas Gozalo, J. M. (1982). *Los satélites de recursos naturales y sus aplicaciones en el campo forestal*, Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- Maynard, P. T. y Strahler, A. H. (1981). "The logit classifier a general maximum likelihood applications", proceedings of the Fifteenth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Ann Arbor, Michigan.
- Megier, J. (1977). "Multi-temporal digital analysis of LANDSAT data for inventory of poplar planted groves in North Italy", proceedings of the International Symposium on image Processing, Interactions with photogrammetry and Remote Sensing, Graz.
- Moomaw, W. R. (2002). *Assessing Barriers and Opportunities for Renewable Energy in North America*. Fletcher School, Tufts University.
- Russell, D. (2002). *Design and Legal Consideration for North American Emissions Trading*. Global Change Strategies International.
- Thompson, L. L. (1979). "Remote Sensing using solid state array technology," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45.
- Townshend, J. R. (1981). "The spatial resolving power of earth resources satellites". *Progress in Physical Geography*, 5(1).
- Tricart, J. L. (1979). "Paisaje y ecología". En : *Revue de Géomorphologie Dynamique*, XXVIII, 3.